

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA  
IMPLEMENTACIÓN DE UNA PEQUEÑA CENTRAL DE  
HIDROGENERACION**

**DOCUMENTO PREPARADO PARA  
DEVELOPMENT ASSOCIATES, INC**

**POR  
AXEL SODERBERG**

**NOVIEMBRE 2,003  
SAN SALVADOR, EL SALVADOR, C.A.**

## SUMARIO

---

El presente trabajo indica los pasos a seguir para estudiar la factibilidad técnica y económica de pequeños proyectos de generación de energía eléctrica, y específicamente para Micro-hidro generación, la cual ha sido usada tradicionalmente en el mundo como un método de desarrollar energía para moler granos y que también tuvo un rol importante en la industrialización y modernización de Europa y de Norteamérica. Actualmente esta tecnología ofrece también un potencial similar a la mayoría de los países en vías de desarrollo, con aplicaciones muy variadas.

Por la magnitud de la potencia de los proyectos que en un futuro desea analizar el Proyecto AGUA USAID, este documento está centrado en la utilización de bombas centrífugas estándar como una alternativa de bajo costo, en sustitución de las turbinas convencionales. La información y los consejos presentados en este documento, están basados en la investigación y experiencias llevadas a cabo por la Nottingham Trent University, con el Intermediate Technology Group (ITDG) para utilizar Bombas Centrífugas como Turbinas. Se aplica la metodología a un sitio específico que no fue seleccionado por mi persona y que inicialmente se creyó que tenía una carga de agua mayor que la que finalmente resultó al efectuar las mediciones topográficas.

Finalmente, la metodología aquí tratada, será explicada en detalle a un grupo técnico que será seleccionado por personeros del Proyecto AGUA USAID El Salvador.

## **Capítulo 1**

### **INTRODUCCIÓN.**

La energía eléctrica es un insumo esencial para el bienestar de cualquier sociedad. Ella está presente en la mayoría de los bienes y servicios producidos, así como es, por sí misma, un importante artículo de consumo. El uso de formas alternativas de energía en los diferentes países varía de acuerdo con la coyuntura de cada país; y más específicamente, con el precio internacional del petróleo y su dependencia del mismo.

La generación de energía eléctrica en El Salvador, según lo determina la Ley General de Electricidad, funciona de acuerdo al Mercado de Contratos (MC) y al Mercado Regulador del Sistema (MRS). Hay un gran número de factores que hacen deseable la inyección a ambos mercados, de energía generada con recursos renovables. También hay ocasiones, especialmente en zonas remotas, en las que la generación descentralizada, con recursos energéticos localmente disponibles, resulta casi siempre más indicada que el transporte de energía desde lugares lejanos.

#### **1.1 CONCEPTOS BASICOS RELACIONADOS A PEQUEÑOS PROYECTOS DE GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA**

Comentarios y anotaciones acerca de los siguientes temas:

- 1.1.1 Ley General de Electricidad de El Salvador
- 1.1.2 Leyes de Protección del medio ambiente y su relación con proyectos de generación de electricidad con energías renovables
- 1.1.3 Distintos operadores del sector eléctrico
- 1.1.4 Mercados para los generadores de electricidad en El salvador
- 1.1.5 Pequeña Central hidroeléctrica, Factor de Planta, Montos de inversión en US \$ por Kw.
- 1.1.6 Pérdidas en tuberías, carga bruta y carga neta para proyectos de generación de energía eléctrica.
- 1.1.7 Generador síncrono, Número de polos, Velocidad de sincronismo, Motores de Inducción, Deslizamiento.

## 1.2 INTRODUCCIÓN A LAS PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS Y A LOS PROYECTOS DE MICRO-HIDRO GENERACIÓN.

En El Salvador las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH's) son una opción para entregar energía renovable tanto al Mercado de Contratos como al MRS, lo mismo que para generar en forma descentralizada. Una PCH es el conjunto de instalaciones y otras infraestructuras realizadas con el objetivo de transformar la energía potencial de un curso de agua en una energía eléctrica útil, cuyo destino es, bien su auto consumo en el mismo lugar de producción, o bien, su venta a la red eléctrica comercial. Se acostumbra entender por PCH a aquella instalación hidroeléctrica con una capacidad igual o inferior a 10,000 KW; y por Micro Central a aquellas con capacidad igual o inferior a 30 KW.

Las PCH's de acuerdo a la Ley General de Electricidad pueden trabajar suministrando energía tanto en forma aislada como participando en el mercado, efectuando inyecciones a la red interconectada, principalmente en las redes de distribución de media tensión de las distribuidoras. Para esta finalidad deben solicitar a la SIGET concesión para usar el potencial del sitio en el que se instalarán. Para operar pueden equiparse con generadores eléctricos tanto sincrónicos como asincrónicos. La decisión del tipo de generador a emplearse es una elección técnica que en el caso de trabajar inyectando energía a la red, se realiza conjuntamente con la distribuidora que la comprará, tomando en cuenta la potencia a inyectarse a la red y sus requerimientos, especialmente en lo referente a energía reactiva. La inversión requerida para estos proyectos varía desde aproximadamente US \$ 1,000/Kw para factores de planta y cargas de agua elevadas ( $PF > 0.65$ ;  $H_n > 500$  metros), hasta US \$ 2,500/Kw para factores de planta y cargas de agua reducidas ( $FP < 0.4$ ;  $H_n < 100$  metros)

En el caso de Micro-hidro generación, en límites mínimos de 200 vatios y máximo de 30 Kilovatios, el uso de bombas centrífugas estándar utilizadas en reversa como turbinas tienen ventajas considerables sobre las turbinas convencionales, derivado lo anterior del hecho que las bombas son producidas masivamente, mientras que las turbinas son fabricadas para pedidos específicos. La inversión requerida para estos proyectos varía desde aproximadamente US \$ 250/Kw para factores de planta y cargas de agua elevadas ( $PF >$

0.65;  $H_n > 200$  metros), hasta US \$ 5,000/Kw para factores de planta y cargas de agua reducidas(  $FP < 0.4$ ;  $H_n < 50$  metros)

Las principales ventajas son:

- ✓ Se puede adquirir integrada la bomba y su motor, utilizándose ambos para generar, la bomba como turbina y el motor como generador.
- ✓ Están disponibles para una gama amplia de caídas y caudales.
- ✓ Disponibles para una gama amplia de tamaños estandarizados.
- ✓ Por ser producidas masivamente, son adquiribles a bajo costo.
- ✓ Los tiempos de entrega de los fabricantes son cortos en caso de no haber existencia en bodegas.
- ✓ Las piezas de repuesto son fácilmente adquiribles.
- ✓ Son fáciles de instalar, utilizando accesorios estándar para tuberías normales de agua.

Sin embargo, la simplicidad en el uso de Bombas como Turbinas tiene ciertas limitaciones cuando se compara con las Turbinas, que son más caras. La principal limitación es el rango de la caída de agua (la variación de la carga de agua) con la que una unidad en particular puede trabajar, ya que es mucho más limitado que en el caso de las turbinas.

## Capítulo 2

# ALTERNATIVAS DEL TIPO DE BOMBAS QUE PUEDEN USARSE COMO TURBINAS

### 2.1 TIPOS DE BOMBAS APROPIADAS

De investigaciones llevadas a cabo se ha concluido que hay varios tipos de bombas apropiadas, siendo las principales:

- ✓ Bombas Centrífugas de flujo radial y simple succión, ya sean tipo Monobloc (Moto-bomba) o de Pedestal (Bomba acoplada directamente a un motor).



Fig. No.1 (Bombas Tipo Monobloc)



Fig. No.2 (Bomba Tipo Pedestal)

- ✓ Bombas centrífugas de flujo radial estándar multietapas con motor eléctrico acoplado directamente y no sumergido.



Fig. No.3 (Bombas Multietapas Verticales con motor acoplado directamente)



Fig. No.4 (Bombas Multietapas Horizontal con motor acoplado directamente)

Las bombas centrífugas de flujo radial estándar se usan ampliamente para fines de suministro de agua y para irrigación. La gran mayoría son de una única succión que conecta con el ojo del impulsor y en dirección perpendicular a la descarga. Para ser apropiadas para usarse como turbinas deben tener baleros propios o estar integradas a un motor de

inducción con baleros apropiados para funcionamiento en Monobloc. En pequeños tamaños el impulsor va enroscado al eje y a menos que un objeto sólido atore el impulsor, éste no se desenroscará porque el torque sigue aplicándose normalmente en la misma dirección en que opera cuando se usa como bomba.

Las Bombas centrífugas multietapas con motor eléctrico acoplado directamente y no sumergido se usan ampliamente en las obras de construcción para drenar agua, lo mismo que en pozos abiertos. La precaución con estas bombas usadas como turbinas es que se debe de remover el filtro que usualmente traen incorporado como equipo estándar.

En países en vías de desarrollo es muy importante verificar la calidad de una bomba que se pretende usar como turbina, pues es frecuente que pequeñas fábricas copien los diseños de otros fabricantes con más recursos tecnológicos, pero ofrecen productos de baja calidad, especialmente en las piezas fundidas, y que no son recomendables para usarse como turbinas porque tendrían un comportamiento con baja eficiencia. Para verificar la calidad de la bomba hay cinco inspecciones que conviene realizar:

1. Tolerancia del ojo del impulsor
2. Calidad de la fundición de las partes
3. Material de que está construido el impulsor
4. Material de que está construido el eje de la bomba
5. Calidad de los baleros

Con relación al tipo de sellos, tanto las bombas con sello mecánico como con estopero han mostrado un funcionamiento satisfactorio operando como turbinas.

## 2.2 CARGAS DE AGUA Y CAUDALES APROPIADOS

El rango de las Bombas como Turbinas generalmente se delimita a partir de usar acople directo con motores de 2 polos (aprox. 3,600 rpm) o de 4 polos (aprox. 1,800 rpm). El acople por medio de poleas hace bajar considerablemente la eficiencia de la conversión de la energía del agua en energía eléctrica y se usa cuando no hay otra alternativa o cuando hay abundancia de agua y la eficiencia es un factor no determinante. La Figura No. 5

muestra los rangos aproximados entre carga de agua y flujo disponible, que determinan la utilización de bombas acopladas directamente a motores de inducción, trabajando como turbinas.

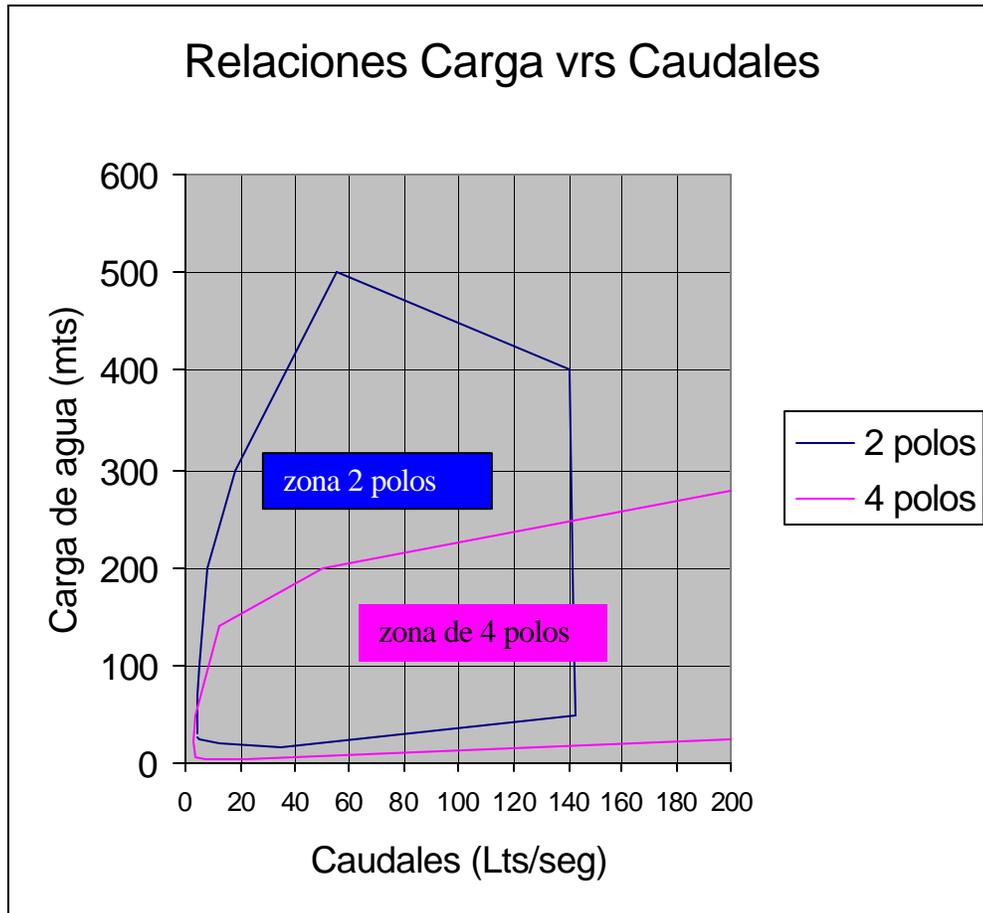


Fig. No. 5 Zonas para Bombas con motores de 2 y 4 polos

La velocidad de rotación, por lo tanto, va a depender tanto de la carga de agua como de la cantidad o caudal disponible en el sitio que se está evaluando. Para un sitio en particular, como puede apreciarse en la Fig. No. 5, pueden utilizarse bombas de distinta velocidad de rotación; sin embargo, una bomba más veloz es más compacta y de menos costo pero tiende a desgastarse más rápidamente. Una bomba de menos velocidad es más cara pero tendrá más duración y requerirá menos mantenimiento.

### Capítulo 3

## COMPORTAMIENTO DE BOMBAS CENTRIFUGAS TRABAJANDO COMO TURBINAS

### 3.1 CURVAS TÍPICAS DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS

Para comprender el comportamiento de una bomba centrífuga trabajando como turbina es necesario entender su funcionamiento normal cuando trabaja como bomba. La mejor manera de hacerlo es a partir de dos curvas típicas de su comportamiento: 1) la curva de eficiencia vs. el flujo que entrega y 2) la curva que relaciona la carga dinámica de la bomba vs. el flujo que entrega, incorporando en la curva, puntos con eficiencia conocida.

Se muestra a continuación una curva típica eficiencia vs. Flujo.

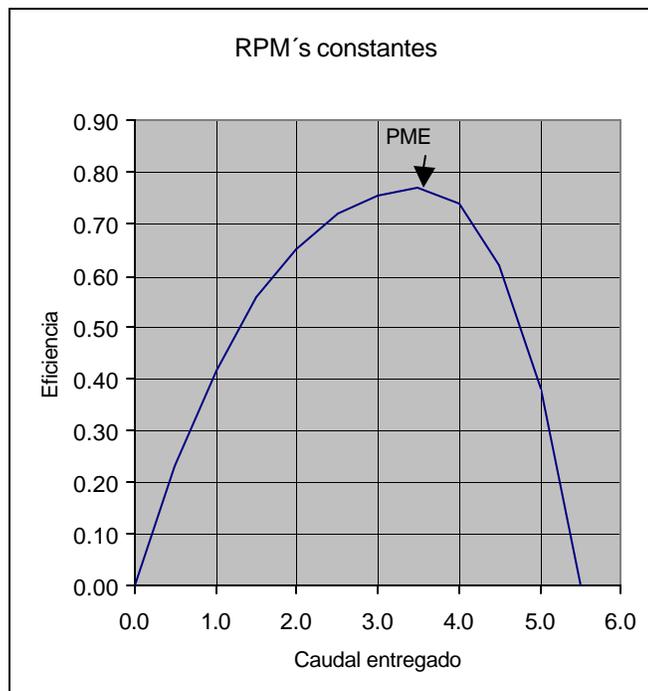


Fig. No. 6 Curva eficiencia caudal

De esta curva, específica para una bomba en particular, se observa que hay un único punto llamado *punto de máxima eficiencia (PME)* para el cual la bomba trabaja en las mejores condiciones de eficiencia. El PME depende del tipo y tamaño de las bombas; sin embargo el valor usual se encuentra entre 40% y 80%.

Al graficar Potencia vs. Caudal se obtiene una curva con una tendencia igual.

La segunda curva mencionada se muestra en la Fig. No. 7 la cual corresponde al comportamiento de una bomba específica trabajando a velocidad constante.

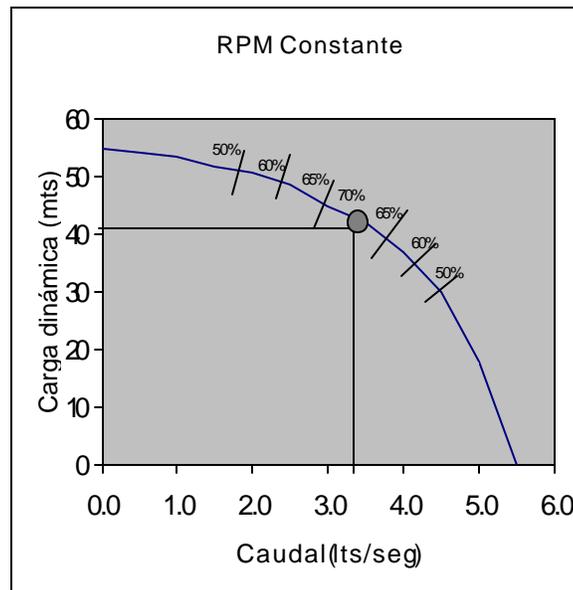


Fig. No. 7 Curva de Carga dinámica vs. Caudal entregado

A lo largo de la curva se señalan puntos a los que se acota la eficiencia y es una presentación acostumbrada por los fabricantes de bombas centrífugas.

### 3.2 CURVAS DE BOMBAS OPERANDO COMO TURBINAS

Las bombas son al igual que las turbinas, turbo máquinas hidráulicas con un mismo principio de funcionamiento. Las diferencias en el diseño de unas y otras obedecen a las particularidades del funcionamiento. Así, mientras las turbinas se diseñan para ajustar el

caudal de entrada de acuerdo a la potencia que se desea obtener de ellas, las bombas centrífugas no se diseñan con ningún dispositivo regulador. La necesidad de ese dispositivo se comprende estudiando las condiciones que debe cumplir una turbo máquina hidráulica para trabajar con máxima eficiencia; y más específicamente analizando el comportamiento de los triángulos de velocidad del agua a la entrada del dispositivo convertidor de energía (Rodete para las turbinas e impulsor para las bombas centrífugas). Por ser muy importante para la comprensión del comportamiento de las bombas operando como turbinas, el triángulo mencionado se muestra a continuación:

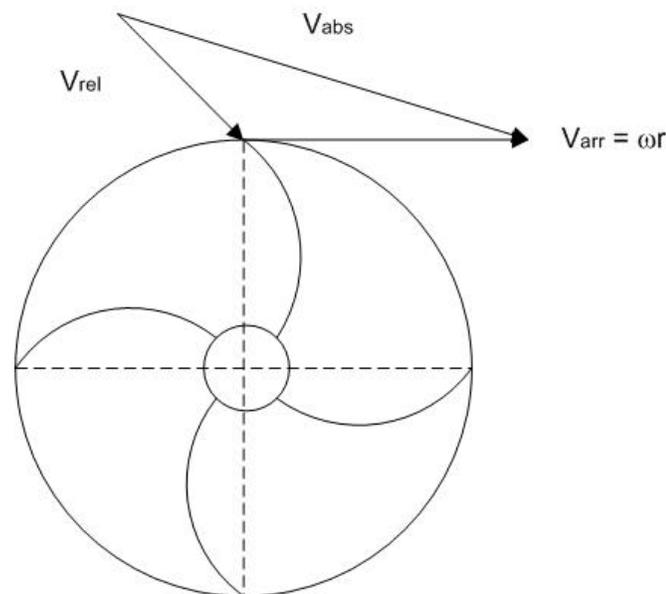


Fig. No 8 Triángulo de velocidades en un impulsor

A partir de las curvas típicas antes mencionadas de las bombas y del triángulo de velocidades, es posible comprender su comportamiento operando como turbinas.

En primer lugar, una bomba es una turbo máquina que se comporta como una turbina cuando se invierte la dirección del flujo del agua; pero en vista de que no tiene dispositivo para regular la admisión, se comporta en ese sentido como una turbina con el dispositivo de admisión plenamente abierto todo el tiempo. Si se prueba una bomba centrífuga frenando su eje, mientras se mantiene con una carga de agua de valor constante, es posible conocer

más acerca del comportamiento buscado. El esquema que se presenta a continuación ilustra la manera de realizar la prueba antes mencionada.

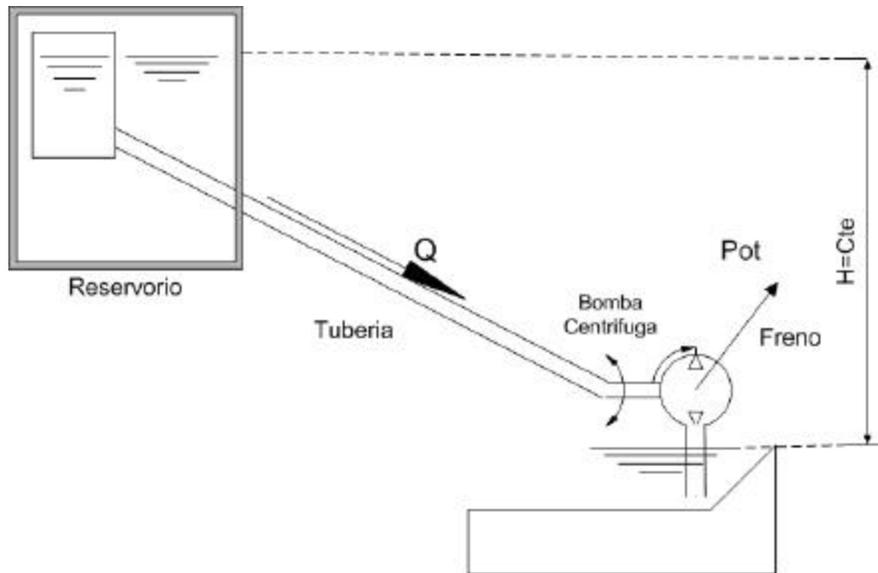


Fig. No 9 Prueba al freno de una bomba centrífuga con H constante

De esta prueba se obtienen las curvas de comportamiento del caudal vs. las RPM, como se muestra en la siguiente figura:

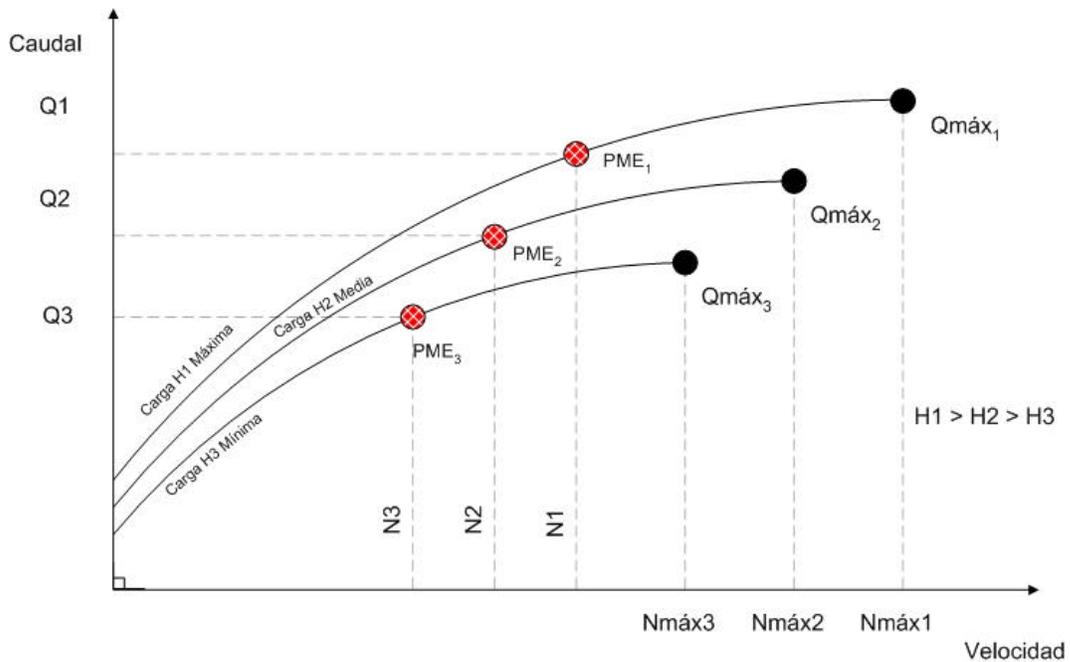


Fig. No 10 Caudal vs RPM de una bomba como turbina para distintas cargas H

Se observa de la Fig. No 10 que los puntos de máxima eficiencia (PME) para cargas de agua crecientes se desplazan hacia la derecha ya que a su vez se dan para un porcentaje aproximadamente fijo de la velocidad máxima (De desboque).

También de las mediciones tomadas de la prueba se obtienen datos que permiten construir las curvas del comportamiento de la potencia desarrollada vs. la velocidad, las cuales tienen la tendencia que se muestra a continuación:

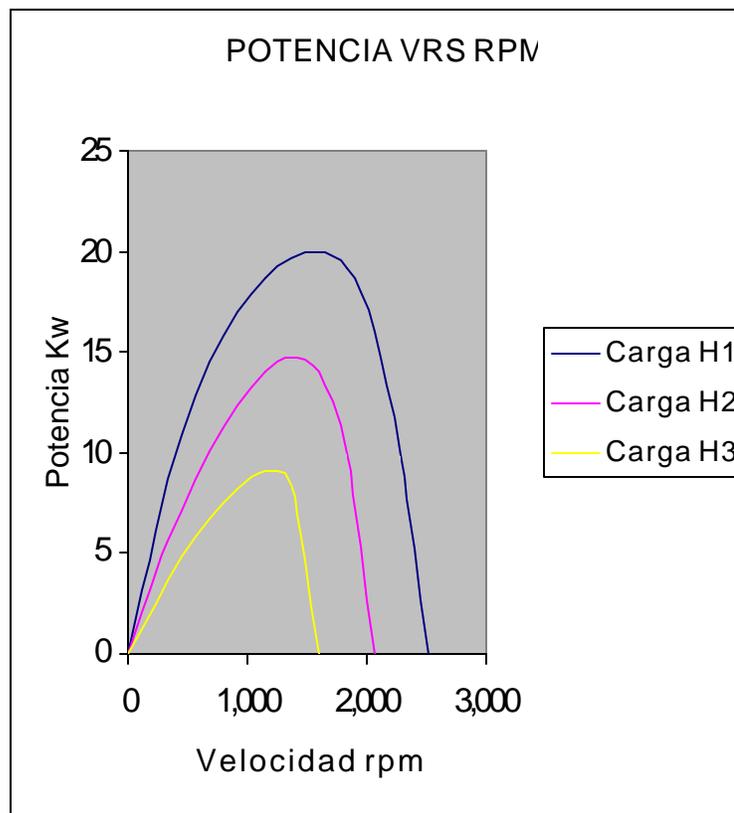


Fig. No 11 Potencia vs. RPM para distintas cargas H

### 3.3 CALCULO DE LA CARGA DE AGUA REQUERIDA PARA EL PUNTO DE OPERACIÓN DE UNA BOMBA TRABAJANDO COMO TURBINA.

El punto de operación (PO) requerido para una bomba determinada trabajando como turbina, para una carga bruta de agua H se encuentra restando a ésta, las pérdidas por fricción en la tubería de presión. En los proyectos de Micro-hidro generación, la tubería de

presión es generalmente la infraestructura de mayor costo y debido a lo anterior es importante diseñarla con costo mínimo.

### 3.3.1 *Diseño de la Tubería de Presión.*

La selección del material depende generalmente de la disponibilidad de tuberías de los suministrantes locales, de la presión que debe soportar incluyendo posibles sobrepresiones, de las dificultades de transporte al sitio del proyecto y de la tecnología y disponibilidad de operarios calificados para hacer las juntas en la tubería. Tuberías de acero galvanizada y tuberías de PVC son fáciles de conseguir en El Salvador; sin embargo el precio de la tubería de PVC es considerablemente menor, por lo que para los proyectos de Micro-hidro generación se supone en lo que sigue que tanto la tubería como los accesorios de la misma son de PVC.

En lo que respecta a la elección del diámetro de la tubería, esta se determina a partir del caudal máximo para el cual se va a diseñar, tomando en consideración la magnitud de las pérdidas, las cuales para tuberías largas no deberían ser mayores del 10% de la carga bruta de agua y del 20 % para tuberías cortas. La regla anterior se ha incorporado a la hoja electrónica en excel “ Pérdidas en Tuberías” que se adjunta a este documento con el objetivo de usarla para calcular el punto de operación PO requerido para una bomba determinada, trabajando como turbina, para una determinada carga H. Utilizando la mencionada hoja electrónica se puede construir la gráfica que relaciona la carga bruta de agua, las pérdidas y el punto de operación PO para el caudal de diseño, la cual tiene la tendencia de la gráfica que se muestra en la Fig No. 12. Esta gráfica ha sido construida utilizando la hoja electrónica antes mencionada y a partir de un caso hipotético en el cual la longitud de la tubería es de 500 metros, la carga de agua bruta es de 32.54 metros y el diámetro de la tubería es de 6 pulgadas. Para un caso como este, si se deseara utilizar el potencial del sitio para Micro-hidro generación, el PO requerido para la bomba trabajando como turbina tendría las coordenadas H y Q que corresponden al caudal para el cual se desea diseñar la instalación. Si se tratara de 120 gpm, el PO<sub>1</sub> tendría como coordenadas H = 31.96 mts y Q = 120 gpm; y si se tratara de 225 gpm el PO<sub>2</sub> tendría como coordenadas H = 30.48 y Q = 225 gpm.

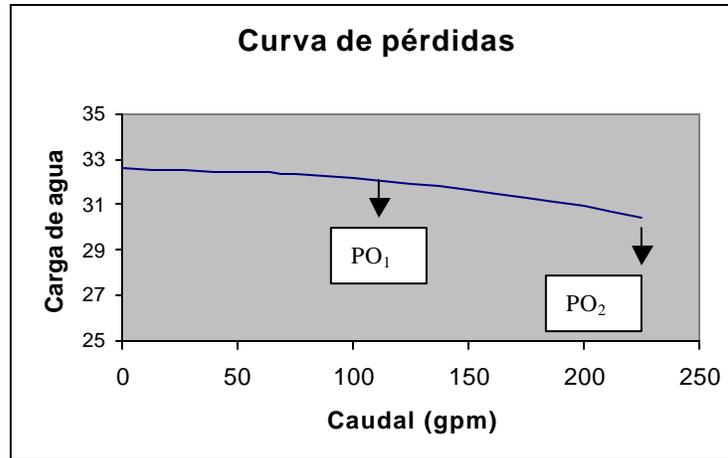


Figura No. 12 Punto de operación requerido para una bomba como turbina para 120 gpm. y 225 gpm

### 3.4 BOMBA COMO TURBINA ALIMENTANDO UNA CARGA ELECTRICA AISLADA.

Una de las aplicaciones de las bombas como turbinas es alimentar una carga eléctrica aislada. Para analizar su comportamiento en estas condiciones hay que saber previamente si, por las características de la fuente o por la capacidad de almacenamiento del reservorio, la carga de agua con la que trabajará, va a sufrir o no variaciones con el tiempo.

#### 3.4.1 Bomba como turbina con carga de agua fija alimentando una carga aislada.

Cuando la bomba ha de trabajar alimentando una carga aislada *con carga de agua fija*, su funcionamiento se comprende analizando la Fig No 10 (Caudal vrs RPM de una bomba como turbina para distintas cargas H). Supondremos que hemos seleccionado una bomba para las condiciones de carga de agua neta  $H_1$ , caudal  $Q_1$  y para la velocidad requerida, cuyo punto de máxima eficiencia  $PME_1$  coincide en coordenadas H vrs. Q con las del punto de operación requerido  $PO_1$ , calculadas según la sección 3.3 anterior. Si la carga eléctrica externa conectada coincide con la que desarrolla la bomba como turbina en el punto  $PME_1$ , la velocidad de trabajo será  $N_1$  y la bomba estará entregando la máxima potencia eléctrica que es capaz de desarrollar. Si hay una variación de la carga eléctrica, esta tendrá que ser por disminución de la misma; y por lo tanto, el nuevo punto de operación se desplazará hacia la derecha de la “Curva de Carga  $H_1$ ” hasta encontrar un nuevo punto de equilibrio

PO' a una velocidad mayor, en donde, por la distorsión en el nuevo triángulo de velocidades, el choque del agua a la entrada del impulsor disminuye la eficiencia y por lo tanto también disminuye la potencia producida por la bomba. Si la disminución de la carga eléctrica continúa hasta eliminarla, el punto de operación PO' se continuaría desplazando hacia la derecha hasta alcanzar la velocidad máxima  $N_{m\acute{a}x}$ , al eliminar por completo la carga eléctrica externa. Un funcionamiento así no reúne las condiciones de calidad que actualmente requiere un sistema eléctrico aceptable.

### 3.4.2 Bomba como turbina con carga de agua variable alimentando una carga aislada.

Cuando la bomba ha de trabajar alimentando una carga aislada con *carga de agua variable* como es el caso al utilizar un reservorio con capacidad de almacenamiento moderada, el funcionamiento también es posible comprenderlo analizando la Fig No 10 (Caudal vrs RPM de una bomba como turbina para distintas cargas H). Supondremos que hemos seleccionado una bomba para las condiciones de carga de agua neta  $H_2$ , caudal  $Q_2$  y para la velocidad requerida, cuyo punto de máxima eficiencia  $PME_2$  coincide en coordenadas H vrs. Q con las del punto de operación requerido  $PO_2$ . Si la carga eléctrica externa conectada coincide con la que desarrolla la bomba como turbina en el punto  $PME_2$ , la velocidad de trabajo será  $N_2$  y la bomba estará entregando la máxima potencia eléctrica que es capaz de desarrollar.

Si por efecto de las lluvias el nivel del reservorio se incrementa y *aumenta la carga de agua* hasta  $H_1$ , a esta nueva carga de agua le corresponde una nueva curva de Potencia vrs velocidad, que a la misma velocidad, desarrolla más potencia (ver Fig No 11 Potencia vrs. RPM para distintas cargas H) El equilibrio con la potencia demandada se pierde y se logrará un nuevo punto de equilibrio a una velocidad de la bomba como turbina más elevada, en donde, por la distorsión en el nuevo triángulo de velocidades, el choque del agua a la entrada del impulsor disminuye la eficiencia y por lo tanto también disminuye la potencia producida por la bomba. Fijar con precisión el nuevo punto de operación no es fácil porque la potencia demandada por la carga también va a variar como resultado del aumento en velocidad y por lo tanto en frecuencia eléctrica. Por lo anterior, cuando se pretende usar bombas como turbina, el rango de variación de la carga de agua es limitado.

Al igual que en el caso de una bomba como turbina con carga de agua fija, el funcionamiento con carga de agua variable tampoco reúne las condiciones de calidad que actualmente requiere un sistema eléctrico aceptable.

Pero también es posible por diversos motivos que *la carga de agua disminuya*, y si nuevamente partimos de que la bomba está trabajando inicialmente en el punto  $PM_2$  y la carga de agua se reduce hasta un valor  $H_2$ , a esta nueva carga de agua le corresponde una nueva curva de Potencia vrs. velocidad, que a la misma velocidad, desarrolla menos potencia (ver Fig No 11 Potencia vrs. RPM para distintas cargas H) El equilibrio con la potencia demandada se pierde y se logrará un nuevo punto de equilibrio a una velocidad menor de la bomba como turbina, en donde, por la disminución de velocidad, baja tanto el voltaje como la frecuencia eléctrica; y por lo tanto, la potencia demandada por la carga. En el nuevo punto de equilibrio, la potencia menor desarrollada por la bomba coincide con la potencia menor demandada por la carga eléctrica. Este funcionamiento con carga de agua variable tampoco reúne las condiciones de calidad que actualmente requiere un sistema eléctrico aceptable.

#### 3.4.3 Control de la potencia eléctrica de un generador para Micro-hidro generación.

Hemos concluido que las bombas como turbina tanto con carga de agua fija como con carga de agua variable no son capaces de proporcionar un servicio eléctrico de calidad cuando trabajan en forma aislada debido a la ausencia de un mecanismo para ajustar el flujo de agua. Sin embargo hay lugares remotos en los que la energía que se desea generar podría estar destinada a usarse para iluminación por períodos de unas cuatro horas por las noches. En estos sistemas, la carga de iluminación se conecta simultáneamente al inicio del período y se desconecta simultáneamente al final del mismo; es decir que se trabaja con una carga demandada constante. Los sistemas con carga conectada fija son los más fáciles de instalar pero tienen la desventaja de que son inflexibles.

Para servir cargas eléctricas aisladas y variables en el tiempo, utilizando bombas como turbina, y con una calidad aceptable, existen cuatro maneras tradicionales de controlar la potencia eléctrica de salida de un generador para Micro-hidro generación:

- ✓ Ajustando el caudal de entrada con un dispositivo distribuidor. Esta opción de control solamente se puede realizar con las turbinas, ya que como se ha mencionado anteriormente, una bomba usual no tiene dispositivo para controlar la admisión del agua y equiparla con tal mecanismo es demasiado caro.
- ✓ Controlando manualmente la admisión del agua con la válvula de entrada a la bomba, cuando la carga de agua se incrementa, con lo cual el efecto obtenido equivale a disminuir la carga de agua con la que trabaja.
- ✓ Controlando automáticamente la carga del generador de manera de conectar y desconectar potencias conocidas independientes de la carga externa, de manera de que la suma sea siempre cercana a la potencia nominal. El generador trabajará de esta manera todo el tiempo con una carga total cercana a la nominal. Para trabajar de esta manera se requiere usar un dispositivo de control para el voltaje (AVR) y de un controlador de carga eléctrica (ELC) cuando el generador es síncrono y un control de generador de inducción (IGC) cuando el generador es de inducción (asíncrono).
- ✓ Controlando manualmente las cargas externas antes descritas, lo cual es impreciso y requiere de un operador para hacerlo.

### 3.5 BOMBA COMO TURBINA TRABAJANDO EN FORMA INTERCONECTADA A UNA RED DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA.

El Salvador es un país pequeño en el cual ya existe una red de distribución de energía eléctrica que abarca la mayoría de poblaciones de su territorio. Por lo tanto, habrá lugares apropiados para Micro-hidro generación en los que es posible conectarlos a la red y pensar en vender la energía a la Distribuidora de la zona, como se explica en la sección 1.2 del Capítulo 1 (Introducción) de este documento. Esta forma de disponer de la energía generada tiene la ventaja que aumenta considerablemente la utilización del equipo y por lo mismo, la generación de energía por año. Al factor que relaciona la cantidad de energía generada por año, con la cantidad de energía que se generaría con ese equipo si trabajara con su potencia nominal las 8,760 horas que hay en el año, se le llama factor de planta (FP) y entre mayor sea su valor, los costos de generación son menores. El factor de planta para generación aislada difícilmente alcanza un valor de 0.35 mientras que trabajando en forma

interconectada se alcanzan valores de 0.65 y aún mayores. Es por lo anterior que en este documento se contempla el caso de bombas operando como turbinas, entregando la energía generada a una red de distribución, ya que esta es económicamente una mejor opción que la de generación aislada.

El comportamiento de una bomba trabajando como turbina interconectada a una red de distribución de energía eléctrica difiere del caso contemplado anteriormente en la sección 3.3 de este capítulo (generación aislada), porque estando interconectada eléctricamente, la velocidad de trabajo de la bomba no es variable. Analizaremos el comportamiento en estas condiciones sabiendo que por las características de los proyectos AGUA USAID en El Salvador, el nivel del agua en los reservorios, va a sufrir variaciones con el tiempo.

Supondremos que hemos seleccionado una bomba para las condiciones de carga neta a partir de la *carga de agua media* de trabajo. Refiriéndonos a la Fig. No 10, la carga  $H_2$  correspondería al valor calculado de carga de agua del punto de operación PO requerido para la bomba (ver sección 3.31 Fig No 12), partiendo para dicho cálculo de la *carga de agua media*. Este punto de operación PO debe tener iguales coordenadas H vrs Q que el punto de máxima eficiencia  $PME_2$  de la bomba seleccionada a la velocidad requerida. En estas circunstancias el punto de operación  $PO_2$  coincidirá con el  $PME_2$  y la velocidad  $N_2$  debe de corresponder a la de sincronismo de la red (Ver la sección 1.2 del Capítulo 1).

Puesto que la bomba se ha seleccionado para una carga de agua media, es de esperarse que el nivel del reservorio aumente por efecto de las lluvias o que disminuya por la operación en ausencia de las mismas. Si *la carga de agua aumenta*, su efecto puede analizarse utilizando las gráficas de la Fig. No 10 de Caudal vrs RPM para distintas cargas H. Si suponemos que la bomba está inicialmente trabajando en el punto  $PM_2$  con una carga  $H_2$  y que por efecto de la lluvia se incrementa la carga a  $H_1$ , a esta nueva carga de agua le corresponde una nueva curva de Potencia vrs velocidad, y que trabajando a la misma velocidad, por estar el generador de inducción trabajando sincronizado con la red de distribución, la bomba desarrolla más potencia, la cual es adicionada a la que ya se estaba inyectando a la red. El nuevo punto de operación corresponde a la intersección de la

velocidad  $N_2$  con la curva de carga de agua  $H_1$ . De igual manera, si nuevamente partimos de que la bomba está trabajando en el punto  $PM_2$  y por diversas razones *la carga de agua se reduce* hasta un valor  $H_3$ , a esta nueva carga de agua le corresponde una nueva curva de Potencia vrs velocidad, y que trabajando a la misma velocidad, por estar el generador de inducción trabajando sincronizado con la red de distribución, la bomba desarrolla menos potencia, la cual es adicionada a la que ya se estaba inyectando a la red.

## Capítulo 4

# SELECCION DEL EQUIPO HIDRAULICO APROPIADO PARA MICROHIDRO GENERACION

### 4.1 OPCIONES APROPIADAS DE MOTORES HIDRÁULICOS PARA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD EN PEQUEÑA ESCALA.

Cuando se presenta el caso de diseñar una pequeña central para generar hidroelectricidad, la decisión del tipo de equipo hidráulico a utilizar no es únicamente técnica, sino técnico-económica, puesto que para la mayoría de los casos de PCH's, es posible que se obtengan ofertas tanto para utilizar una o varias turbinas (Pelton, Francis, Turgo, Banki), como para utilizar una o varias bombas funcionando invertidas. La decisión en estos casos suele tomarse haciendo una evaluación técnico-económica en la que se calcula la tasa interna de retorno (TIR) de las diferentes alternativas para decidirse por una de ellas en base a los índices de evaluación económicos. Cuando se trata de Micro-hidro generación las opciones posibles son básicamente tres: 1) ruedas Banki de baja eficiencia construidas localmente, 2) ruedas pelton de mediana eficiencia construidas por empresas con experiencia y acopladas directamente a generadores tipo automotriz de corriente directa a 24 o 48 voltios ó 3) bombas centrífugas trabajando invertidas, generando corriente alterna monofásica o trifásica a 120 o 240 voltios.

La rueda banki es una buena opción cuando hay abundancia de agua en el sitio en donde se pretende instalar, porque aunque trabaje con baja eficiencia, siempre se podrá alcanzar la generación deseada aún gastando más agua, lo cual se supone que no representa ningún inconveniente.

Las ruedas pelton que se construyen para Micro-hidro generación son una buena opción para ser utilizadas en lugares remotos y en donde lo que interesa es disponer de energía para iluminación y utilización de aparatos eléctricos que puedan alimentarse con 12 o 24 voltios de corriente directa. Los fabricantes más conocidos, las acoplan directamente a

sistemas de generación automotriz ya que por ser de fabricación masiva, se pueden adquirir a bajo costo. Pero no siempre es posible pensar en utilizar energía a 24 o 48 voltios DC.

Las bombas centrífugas trabajando invertidas como turbinas son una buena opción cuando por las características de la carga de agua y del caudal disponible, es posible adquirirlas con alta eficiencia y acopladas directamente a un motor de inducción. También son una buena opción y pueden utilizarse con ventaja, cuando la energía generada ha de ser inyectada a una red de distribución de energía eléctrica.

#### 4.2 PROCEDIMIENTO PARA PRESELECCIONAR BOMBAS CENTRÍFUGAS PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD EN PEQUEÑA ESCALA.

Las curvas de comportamiento que se han presentado en el capítulo anterior, y las descripciones del funcionamiento de bombas como turbinas tanto para generación de energía eléctrica en forma aislada como para la generación en forma interconectada, permiten obtener los datos de partida para preseleccionar adecuadamente *por fabricante*, un grupo de bombas elegibles para trabajar como turbinas. Recordemos que de acuerdo a lo expuesto en el capítulo anterior, la preselección se hará según se trate de uno de los siguientes casos:

1. *La carga de agua no va a sufrir variaciones.* En este caso, se deberán preseleccionar aquellas bombas cuyo PME para la velocidad de operación y la *carga de agua fija*, coinciden en coordenadas H vs. Q con las del punto de operación requerido  $PO_1$  (ver Fig No 10), calculadas según la sección 3.3 del capítulo 3. La preselección se puede hacer rápidamente usando un seleccionador de bombas en Internet como el PUMP-FLO.com
2. *La carga de agua tendrá variaciones.* Para este caso, se deberán preseleccionar aquellas bombas cuyo PME para la velocidad de trabajo y para la *carga media de agua* con la que se pretende trabajar, coinciden en coordenadas H vs. Q con las del punto de operación requerido  $PO_2$ , (ver Fig No 10), calculadas según la sección 3.3

del capítulo 3.. La preselección se puede hacer rápidamente usando el seleccionador de bombas en Internet antes mencionado.

#### 4.3 SELECCIÓN DE BOMBAS CENTRIFUGAS Y OBTENCION DE PARAMETROS PARA LA EVALUACION ECONOMICA DE SU UTILIZACION EN PROYECTOS DE MICRO HIDRO GENERACION.

Para verificar si el punto de operación (PO) coincide con el PME, es necesario conocer las curvas de comportamiento H vs. Q particulares de las bombas preseleccionadas para la velocidad de trabajo deseada y graficar en ellas la *curva de comportamiento de la tubería que se piensa utilizar*. Si el cruce de estas dos curvas de comportamiento se da para el valor de máxima eficiencia de la bomba para la velocidad de trabajo seleccionada, entonces el punto de operación (PO) coincide con el PME. La figura que sigue ilustra la manera de determinar si el punto de cruce de las curvas de comportamiento de la tubería y de la bomba coincide con el PME.

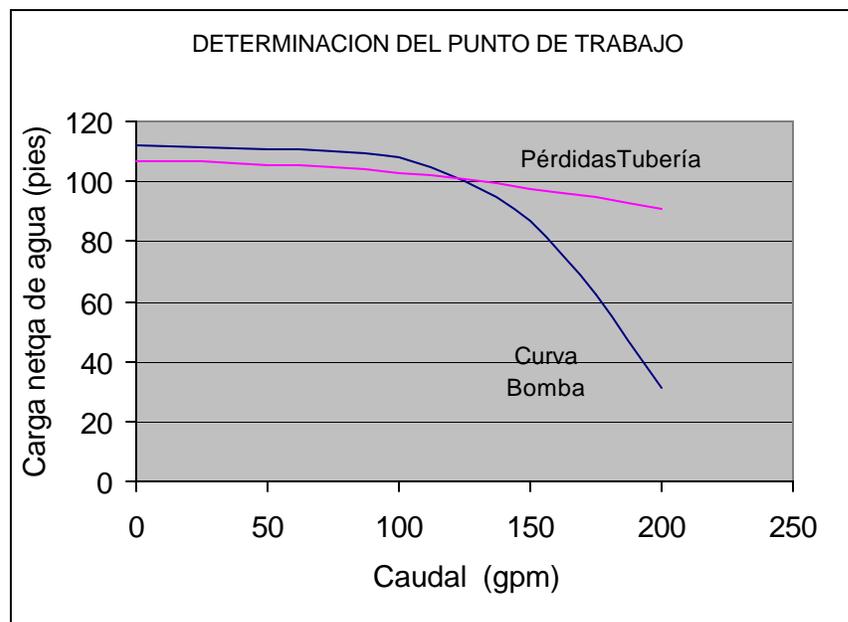


Fig. No 13 Cruce de las curvas de comportamiento de la tubería y de la bomba

Cuando el valor de eficiencia satisface las expectativas deseadas, se selecciona la bomba en cuestión, y registran los siguientes datos: 1) el fabricante, 2) la velocidad de rotación en

rpm, 3) la eficiencia, 4) El diámetro del impulsor, y se solicita 4) El precio de la bomba con el motor incorporado. De esta manera es posible seleccionar varias bombas de varios fabricantes para continuar con el cálculo de datos técnicos necesarios para la evaluación económica del proyecto.

Para pronosticar la energía anual a generar es necesario conocer el tiempo que la bomba como turbina trabajará anualmente y para ello use el archivo en Excel “Pérdidas en Tuberías” y en particular la Hoja “Kwh Generación” del CD que se adjunta.

En el caso que nos ocupa de Micro-hidro generación a partir del agua que es colectada por medio de galerías de infiltración, se hizo la suposición de que se tendrán días con lluvia con la distribución mensual siguiente:

Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
10	18	20	23	25	23	18

También se hizo la suposición que la galería proporciona un número de horas de recolección de agua con un flujo de 120 gal/min con la distribución mensual siguiente.

Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
3	3	3	4	4	4	3

La cantidad de galones captados por mes y disponibles en estos mismos meses para generar energía, calculados con los valores anteriores de días de lluvia mensual y de horas promedio por día de lluvia de recolección de agua tienen la distribución siguiente.

Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
3,600	6,480	7,200	11,040	12,000	11,040	6,480

La hoja de cálculo arrojó los resultados siguientes: Horas de generación anual: 482; Hwh de generación anual: 853.14; Factor de Planta: 5.5%.

## Capítulo 5

### METODO DE LA TASA INTERNA DE RETORNO (TIR) APLICADO A LA EVALUACIÓN ECONOMICA DE PROYECTOS DE MICRO-HIDRO GENERACIÓN

En general todo proyecto ofrece la oportunidad de invertir un monto determinado de capital y a su vez ofrece la perspectiva de obtener ingresos futuros mientras dure el proyecto. El estudio de evaluación económica es la parte final de toda la secuencia de los análisis que se realizan para la evaluación económica de proyectos de inversión.

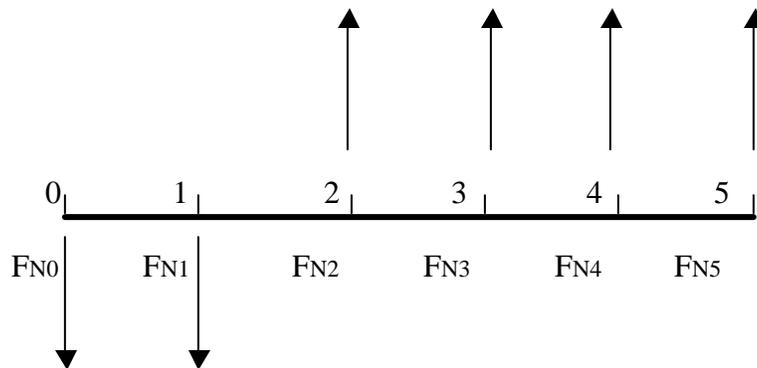
**5.1 ENTRADAS DE RECURSOS ECONOMICOS.-** Desde el punto de vista de la ingeniería económica se puede visualizar un proyecto como un sistema que para fines de su evaluación económica tendrá “entradas de recursos económicos” por las ventas propias del ó de los productos del proyecto; en el caso específico de proyectos de generación de energía eléctrica, por las ventas de energía. Además de las ventas, son entradas de recursos los montos recibidos con cargo a préstamos. Finalmente, si al final del período de evaluación del proyecto los bienes tienen un valor residual, dicho valor también forma parte de las entradas de recursos económicos para fines de la evaluación económica del proyecto.

**5.2 SALIDAS DE EFECTIVO.-** Todo proyecto de inversión requiere para establecerse y para operar a lo largo de su vida útil, de efectuar desembolsos tanta para realizar las inversiones requeridas, como para pagar todo tipo de costas: de operación, de mantenimiento, generales, financieros, impuestos y cuotas de amortización de los préstamos.

**5.3 FLUJOS NETOS DE EFECTIVO (FNE).-** Tanto al final del primer año desde el inicio de un proyecto como al final de cada año transcurrido dentro de su vida útil, es posible hacer un balance entre las “entradas de recursos” (signo -) que se dieron y las “salidas de efectivo”(signo +) que generó el mismo, resultando el valor neto, un flujo negativo si fue necesaria la aportación de efectivo por parte de los inversionistas durante cada mes a partir del inicio del proyecto; así mismo, el valor neto del balance antes mencionado al final de

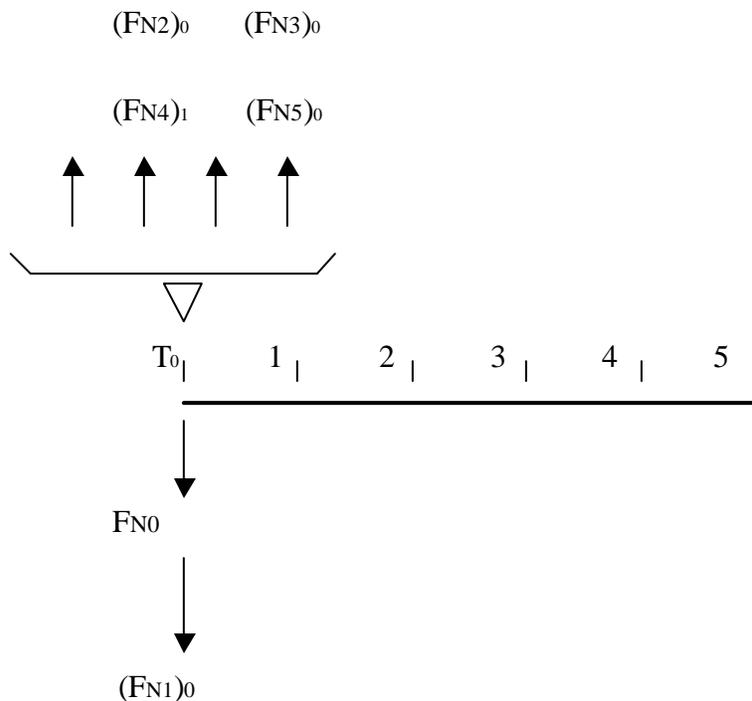
cada mes podrá resultar un flujo positivo si hubo un remanente (beneficios) después de cubrir todos los gastos, los pagoss de impuestos y la amortización de los créditos.

5.4 DIAGRAMA DE FLUJOS NETOS DE EFECTIVO.- Es muy objetivo y ayuda a comprender mejor los conceptos sobre evaluación de proyectos, el representar los flujos netos de efectivo (FNE) por medio de un diagrama de la siguiente manera: trácese una línea horizontal, divídase esta en X tramos o partes iguales, representando cada uno de estos, uno de los años del período en que se evaluará el proyecto desde que se inicia o tiempo cero (To). Representéntense las aportaciones o flujos netos negativos como flechas hacia abajo, y los beneficios anuales o flujos netos positivos por flechas hacia arriba. A continuación se presenta un ejemplo en el que se requieren desembolsos de los inversionistas en dos años consecutivos (To y T1) y en el que en los restantes 4 años se obtuvo, al final de cada uno, flujos netos positivos.



5.5 METODOS PARA LA EVALUACION DE PROYECTOS DE INVERSION.- Todos los métodos de evaluación de proyectos de inversión se basan en hacer comparaciones entre los flujos netos negativos ó desembolsos hechos por los inversionistas, y los flujos netos positivos o beneficios anuales. Para hacer estas comparaciones hay que pasar en forma equivalente dinero del presente al futuro, empleando la tasa “i” de interés o crecimiento del dinero; o pasar en forma equivalente cantidades futuras al presente, en cuyo caso se emplea la tasa de descuento. Los flujos traídos de esta manera al tiempo cero se les llama “flujos descontados”.

A continuación se presenta el diagrama de flujos netos de efectivo que se ha utilizado anteriormente como ejemplo, bajo la suposición de haber sido descontados al tiempo de inicio del proyecto ( $T_0$ ).



En general al evaluar proyectos y pasar en forma equivalente dinero del presente al futuro se utiliza una tasa de interés de los préstamos obtenidos para la realización del proyecto. Por el contrario, al pasar en forma equivalente flujos futuros al presente, se utiliza frecuentemente como tasa de descuento el promedio ponderado de acuerdo a los porcentajes cubiertos por cada fuente de financiamiento y el interés respectivo.

Se explica a continuación la base del funcionamiento de los métodos de evaluación de proyectos: supóngase que se invierte una cantidad de dinero en un banco, de la misma manera se pudo haber invertido ese dinero en una empresa. Se le denotará por la letra P por ser la primera letra de la palabra presente, con lo cual se quiere evidenciar que es la cantidad que se deposita al iniciarse el período de estudio o tiempo cero ( $T_0$ ). Esta

cantidad, después de cierto tiempo de estar depositada en el banco o invertida en una empresa, deberá generar una ganancia a cierta tasa “i” de la inversión inicial P. En el caso del depósito en el banco, el dinero crecería, sin retirar los intereses o ganancias, así:

En el primer período de capitalización (n=1), generalmente un año, y denominando F (Futuro) a la cantidad en que se convierte en ese futuro, se tendría:

$$F = P + Pi = P(1+i)^1$$

Se puede demostrar que la cantidad acumulada en un futuro ( sin que se hayan retirado los intereses), después de un período de capitalización es:

$$F = P(1+i)^n$$

De manera semejante se puede calcular la cantidad a que queda descontada una ganancia que se obtendrá en años a futuro.

$$P = F / (1+i)^n$$

Con estas consideraciones se introduce el concepto de equivalencia. Si se pregunta a cuánto equivalen ¢ 2,000.00 de hoy dentro de dos años, se puede utilizar la fórmula anterior, dependiendo su nuevo valor exclusivamente de la tasa de interés “i” que se aplique. En el caso de los bancos, el valor tiene estrecha relación con la tasa inflacionaria. Si se empleara una tasa del 18%, el valor futuro a dos años sería:

$$F = 2\,000(1+0.18)^2$$

$$F = 2\,784.80$$

Lo anterior nos lleva a concluir que siempre que se hagan comparaciones del dinero a través del tiempo se deben hacer en un mismo instante, usualmente el tiempo cero (To) o

valor presente y siempre deberá tomarse en cuenta una tasa de interés o de descuento pues el valor del dinero se modifica conforme transcurre el tiempo.

Para continuar con los conceptos de evaluación de proyectos, es de suma importancia tener claro cómo se determina para cada año el valor del “flujo neto”, por lo que se presenta a continuación un listado que se aplica al caso de pequeñas plantas hidroeléctricas:

Entradas de efectivo (E):

- Ingresos por venta de energía.
- Ingresos por otros conceptos
- Desembolsos por préstamos con bancos.
- Valor de los bienes al final del período de análisis.

Salidas de efectivo (S):

- Pagos por las inversiones del año.
- Costos de operación.
- Costos de mantenimiento.
- Costos generales.
- Costos financieros.
- Impuestos
- Cuotas de amortización de préstamos.

$$FNE = E - S$$

Valores positivos del FNE implican beneficios.

Valores negativos del FNE implican aportes en efectivo de los inversionistas.

**5.6 METODO DEL VALOR PRESENTE NETO (VPN). DEFINICION.-** Es el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos netos descontados a la o las inversiones iniciales.

Sumar los flujos descontados al tiempo  $T_0$  o valor presente y restarlos de los desembolsos también descontados al tiempo  $P_0$ , equivale a comprar todas las ganancias esperadas contra todos los aportes necesarios para producir esas ganancias en términos de su valor equivalente en el mismo tiempo  $T_0$ .

Para el caso del diagrama de flujos netos que se ha venido usando de ejemplo, el cálculo del VPN para el período de cinco años es:

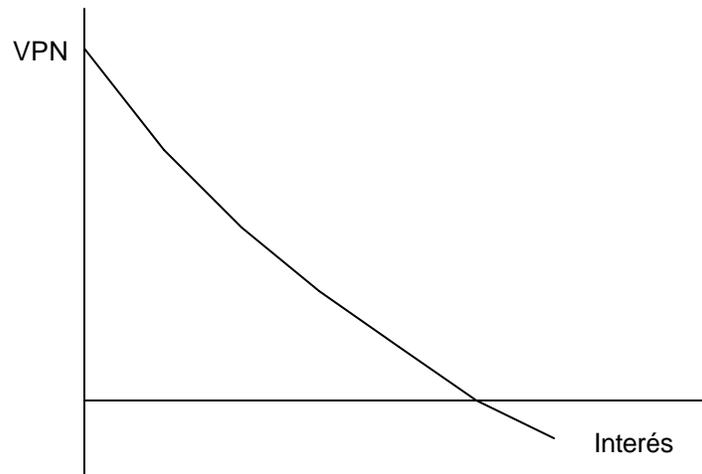
$$VPN = -FN_0 - \frac{FNE_1}{(1+i)^1} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \frac{FNE_3}{(1+i)^3} + \frac{FNE_4}{(1+i)^4} + \frac{FNE_5 + VS}{(1+i)^5}$$

VS: Valor residual

Como se observa de la ecuación anterior, el valor del VPN es inversamente proporcional al valor de la “ $i$ ” aplicada. Hay que recordar como ya se mencionó al explicar las bases de los métodos de evaluación de proyectos, que la tasa de descuento que generalmente se aplica es el promedio ponderado de acuerdo a los porcentajes cubiertos por cada fuente de financiamiento y el interés respectivo. Si después de hacer el cálculo del VPN este resulta positivo habiendo utilizado para “ $i$ ” la tasa mínima considerada como aceptable, esto quiere decir que se obtendrán ganancias en los años analizados, con la tasa deseada más el valor del VPN. Es decir que el criterio de aceptación del proyecto deberá ser obtener un valor del  $VPN > 0$ .

**5.7 METODO DE LA TASA INTERNA DE RENDIMIENTO (TIR). DEFINICION.-** Es la tasa de descuento “ $i$ ” que hace que el VPN sea igual a cero.

Como se mencionó al comentar la ecuación del VAN que se aplica al diagrama de flujos netos que se ha usado como ejemplo, si se hace crecer el valor de “ $i$ ”, el valor del VPN disminuiría hasta llegar a cero e inclusive se volvería negativo. La relación del VPN e “ $i$ ” tiene una tendencia como la que se muestra en la siguiente gráfica:



De aquí se concluye que cuando el  $VPN = 0$  solamente se estará ganando la tasa de descuento que cumple con esta condición (TIR) y que el criterio de aceptación de un proyecto será que la TIR o rendimiento de la empresa sea mayor que el mínimo fijado como aceptable. De acuerdo con la definición, para calcular la TIR se deberá cumplir la siguiente ecuación:

$$FN_0 - \frac{FNE_1}{(1+i)^1} = \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \frac{FNE_3}{(1+i)^3} + \frac{FNE_4}{(1+i)^4} + \frac{FNE_5 + VS}{(1+i)^5}$$

Para ello se procede por prueba y error hasta que se cumpla con la igualdad expresada por la ecuación o se utiliza una calculadora o computadora que obtiene el valor directamente.

## 5.8 EVALUACION ECONOMICA DEL PROYECTO EL CERRITO.

Para la evaluación económica sigamos los pasos indicados en la sección 5.5 de este capítulo siguiendo el listado de entradas de efectivo y de salidas de efectivo.

Entradas de Efectivo (E):

*Ingresos por venta de energía.*

Se parte de los datos de longitud de tubería, Caudal utilizable y carga de agua utilizable.

Los datos recibidos de FUNDAMUNI son los siguientes:

- ✓ Caudal utilizable, 120 gpm
- ✓ Carga de agua promedio, 32.54 metros

- ✓ Longitud de tubería, 1500 metros.

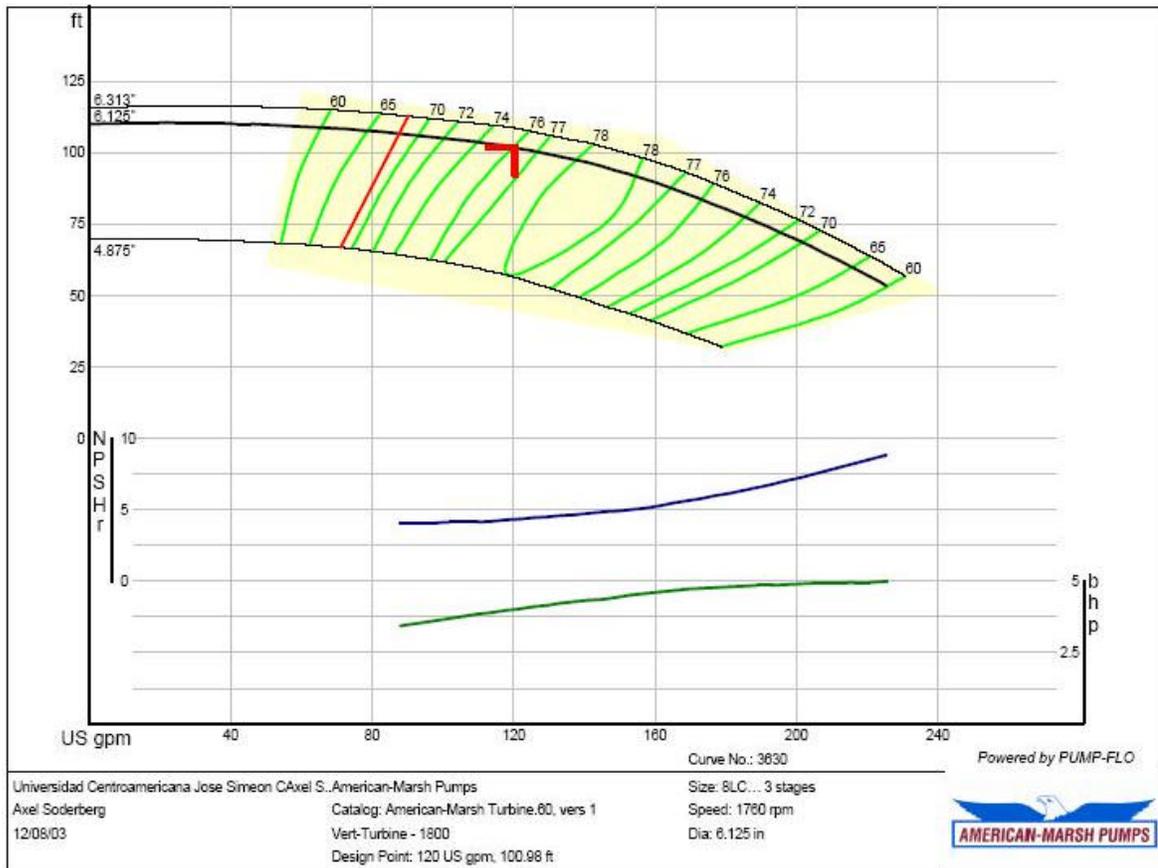
Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Abrimos la hoja de excel "*Pérdida en Tuberías.xls*" y seleccionamos de la hoja, la que aparece en la parte inferior izquierda como Diam = 6". Al seleccionarla nos aparecerá la hoja para cálculos de tuberías de 6 pulgadas de diámetro. En la celda E5 ya está ingresado el diámetro de 6 pulgadas; entonces en la celda E7 habrá que introducir la longitud de tubería del proyecto El Cerrito, la cual es de 1,500 metros. Una vez hecho esto, se debe de leer el valor de *carga neta* que resulta ser de 30.79 o 100.98 pies.
2. A continuación pasamos al seleccionador de bombas por internet, PUMP-FLO.com y trabajaremos con los fabricantes American Marsh Pumps y a SimfloPumps Inc. En ambos casos al poner como criterios de selección el tipo de bomba: turbina vertical, la velocidad 1,800 rpm, el caudal 120 gpm, y la carga de agua en 100.98 pies, obtendremos para cada fabricante una primera preselección de diferentes tipos y tamaños de bombas que operarían muy cercanas al punto PO deseado de 120 gpm y 100.98 pies de carga de agua. Las bombas preseleccionadas por el seleccionador PUMP-FLO para cada fabricante se adjuntan a continuación. Al desplegar la curva de comportamiento para la bomba vertical American Marsh tamaño 8LC y para la bomba vertical Simflo tamaño SP6C se obtienen en formato pdf las curvas que también se adjuntan.
3. De las curvas de comportamiento se observa que la correspondiente a la bomba Simflo tiene un PME que coincide con el PO buscado de la tubería. La eficiencia leída de la curva de comportamiento es de 78% y es la que se utilizará en los cálculos de generación de energía.
4. Con el caudal de 120 gpm y la carga de agua neta de 100.98 pies, equivalentes a 30.79 metros, se calculó la cantidad de energía que es posible generar por mes y por año haciendo las suposiciones que en la hoja *Kwh Generación* se detallan. Esta hoja se ha adicionado al archivo "*Perdidas en Tuberías.xls*" Al final de la hoja se calcula el factor de planta resultante que es de 5.502%, el cual es sumamente bajo para que este proyecto tenga factibilidad económica.

The following pumps meet your primary search criteria. Pumps that are flagged do not meet your advanced criteria. Click on the Type/Size to view the pump curve.

**Design Point: 120 US gpm, 100.98 ft**

Flags	Type / Size	Speed	Dia	Head	Eff	NPSHr	Power	Motor	Frame
	<a href="#">Vert-Turbine 6HC? (7 stqs)</a>	1760	4.6875	104	76	4.21	4.12	5	184T
	<a href="#">Vert-Turbine 6WC? (8 stqs)</a>	1760	4.625	101	61	6.42	4.99	7.5	213T
	<a href="#">Vert-Turbine 6XC? (6 stqs)</a>	1760	4.625	101	74	6.11	4.15	5	184T
	<a href="#">Vert-Turbine 8JC? (4 stqs)</a>	1760	6	103	73	4.55	4.25	5	184T
	<a href="#">Vert-Turbine 8JS? (5 stqs)</a>	1760	6.125	101	73	4.34	4.2	5	184T
	<a href="#">Vert-Turbine 8KC? (4 stqs)</a>	1760	5.6875	101	71	4.41	4.33	7.5	213T
	<a href="#">Vert-Turbine 8KS? (4 stqs)</a>	1760	5.6875	103	72	6.15	4.3	5	184T
	<a href="#">Vert-Turbine 8LC? (3 stqs)</a>	1760	6.125	101	76	4.27	4.01	5	184T
	<a href="#">Vert-Turbine 8LS? (3 stqs)</a>	1760	6.125	101	74	4.46	4.11	5	184T
1	<a href="#">Vert-Turbine 8MC? (3 stqs)</a>	1760	6.3125	101	---	---	---	10	215T
1	<a href="#">Vert-Turbine 8MC? (4 stqs)</a>	1760	5.6875	102	---	---	---	7.5	213T
1	<a href="#">Vert-Turbine 8MS? (4 stqs)</a>	1760	5.6875	103	---	---	---	7.5	213T
1	<a href="#">Vert-Turbine 8MS?. (5 stqs)</a>	1760	5.5	117	---	---	---	7.5	213T

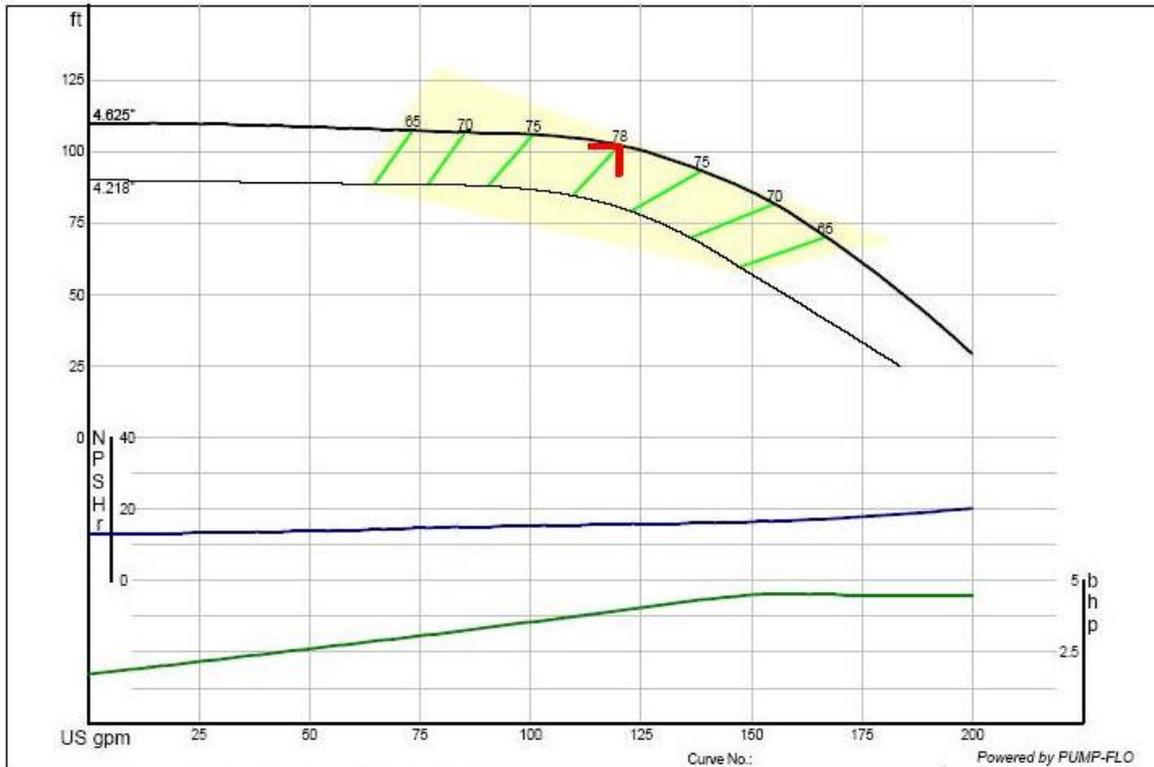




The following pumps meet your primary search criteria. Pumps that are flagged do not meet your advanced criteria. Click on the Type/Size to view the pump curve.

**Design Point: 120 US gpm, 100.98 ft**

Flags	Type / Size	Speed	Dia	Head	Eff	NPSHr	Power	Motor	Frame
	<a href="#">VERTTURBINE SD7C (4 stgs)</a>	1770	5.27	101	68.8	3.05	4.43	7.5	----
	<a href="#">VERTTURBINE SE7C (3 stgs)</a>	1770	5.704	101	60.6	3	5.04	10	----
	<a href="#">VERTTURBINE SF8C (5 stgs)</a>	1770	5.27	104	74.2	9.6	4.24	5	----
	<a href="#">VERTTURBINE SF8C (4 stgs)</a>	1770	5.58	104	73.2	9.6	4.3	5	----
	<a href="#">VERTTURBINE SG8C (5 stgs)</a>	1770	5.062	121	75.8	2.84	4.82	7.5	----
	<a href="#">VERTTURBINE SG8C (4 stgs)</a>	1770	5.208	103	74.4	2.84	4.18	5	----
	<a href="#">VERTTURBINE SP6C (5 stgs)</a>	1770	4.625	101	78	15.5	3.93	5	----
	<a href="#">VERTTURBINE SR5C (17 stgs)</a>	1770	4.125	102	72.5	4.7	4.26	5	----
	<a href="#">VERTTURBINE SS5C (10 stgs)</a>	1770	4.03	101	76.2	4.23	4.01	5	----



Universidad Centroamericana Jose Simeon CAxel S. SIMFLO PUMPS INC.  
Axel Soderberg  
12/08/03  
Catalog: Simflo Pumps.60, vers 1  
VERTTURBINE - 1800  
Design Point: 120 US gpm, 100.98 ft

Curve No.:  
Size: SP6C 5 stages  
Speed: 1770 rpm  
Dia: 4.625 in



La tabla que sigue muestra los resultados obtenidos para las horas posibles de generación por mes de la bomba operando como turbina, la generación anual y el factor de planta.

PROYECTO EL CERRITO, USULUTAN

Diám Tubería = 6.00 Pulg

Long Tubería = 1500 Metros

Eficiencia bomba = 0.78

Coef fricción = 0.0203

Eficiencia Gen de Inducc = 0.98

Desnivel = 32.54 Metros

Caudal gpm	Caudal mt 3/Seg	Diametro Tub mts	Area Tubería mts 2	Velocidad mts/seg	Pérdida mts	Carga Neta mts	Carga Neta Pies	Prob Potencia Kw
120	0.0076	0.1524	0.0182	0.4150	1.75	30.79	100.98	1.75

Caudal Infiltrado en gpm = 120

	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Octubre	Noviembre
Dias de Lluvia por año	10	18	20	23	25	23	18
Horas de Infiltración/Lluvia	3	3	3	4	4	4	3
Galones captados por mes	3,600	6,480	7,200	11,040	12,000	11,040	6,480
Horas de Generac/mes	30	54	60	92	100	92	54

HORAS TOTALES DE GENERACION AL AÑO = 482  
 GENERACION ANUAL DE KWH = 843.14  
 FACTOR DE PLANTA % = 5.502

De mi experiencia haciendo cálculos de factibilidad para proyectos de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, no tengo dudas que con este factor de planta tan bajo este proyecto no tiene factibilidad económica. No obstante, se continúa con el procedimiento porque lo que se pretende con este trabajo, más que determinar si el proyecto de El Cerrito es factible o no, es presentar a los participantes el método de evaluación general. Por lo tanto, continuamos con el siguiente paso.

5. Completar la hoja "Inversiones 1" del archivo TIR.xls del CD que se adjunta, con los datos correspondientes a la inversión que hay que efectuar en el proyecto El Cerrito, sabiendo que por ser algo adicional al proyecto principal que es captar agua de la galería de infiltración en un reservorio para fines de riego, toda esa inversión no forma parte del proyecto de Micro-hidro generación.
6. Completar la hoja "Flujos para Proy 1" del archivo TIR.xls con lo cual se obtiene en la celda B25 la TIR del proyecto.

Después de completar la información en la hoja “Inversiones 1” del archivo TIR.xls con las cotizaciones recibidas para la bomba y su motor de 5 HP, a 1770 rpm, lo mismo que para la tubería, accesorios, etc, se presentan los requerimientos de inversión:

INVERSION EN EQUIPOS ELECTROMECHANICOS Y CASETA		<b>\$4,488.29</b>
Bomba Turbina Vertical Simflo SP6C de una etapa y con motor de 5 HP	1,274.00	
Control eléctrico	1,000.00	
Acometida a red	500.00	
Caseta (¢ 15,000)	1,714.29	
INVERSION EN TUBERIA		<b>\$14,816.80</b>
Longitud metros	1,500	
Long por tubo mts	6	
Número de tubos	250.00	
Costo por tubo de 6" en \$ Sin IVA	50.80	
Inversión en tubos	12,700.00	
Zanjeado ( 5 Homb por 5 días)	250	
Colocación (2 Homb por 3 días)	60	
Accesorios Tuberia	1,270.00	
TOTAL DE INVERSIONES REALIZADAS		<b>\$19,305.09</b>
POTENCIA DEL PROYECTO KW		<b>1.75</b>
INVERSION EN US \$ POR KW		<b>11,031.48</b>

La inversión en US \$ por Kw del proyecto El Cerrito es muy elevada, lo cual con seguridad hará que la TIR no resulte atractiva.

Después de trasladar a la Hoja “Flujos para Proy 1” del archivo TIR.xls los datos previamente determinados de generación anual y de inversión, se obtienen los resultados que se muestran a continuación:

### CALCULO DE FACTIBILIDAD ECONOMICA

INGRESOS ANUALES ESPERADOS	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15
Producción anual supuesta de energía Kwh	843.14	843.14	843.14	843.14	843.14	843.14	843.14	843.14	843.14	843.14	843.14	843.14	843.14	843.14	843.14
Precio de venta del Kwh en \$/Kwh	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Valor Residual en US \$															4,826.27
TOTAL DE INGRESOS	42.16	42.16	42.16	42.16	42.16	42.16	42.16	42.16	42.16	42.16	42.16	42.16	42.16	42.16	4,868.43
GASTOS ANUALES															
Inversiones realizadas en US \$	19,305.09														
Costos de operación fijos *															
Costos de operación variables en US \$	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
FLUJO NETO POR AÑO EN US \$	-19,663	-358	-358	-358	-358	-358	-358	-358	-358	-358	-358	-358	-358	-358	4,468

Notas:

El valor residual que aparece en el año 15 corresponde al 25% de la inversión

\* Se supone una planta automatizada incorporada a un proyecto que ya tiene costos de administración.

No aparece depreciación por servir la tabla para cálculo de Flujos Netos de Efectivo

No aparece un valor calculado para la TIR porque los flujos netos son todos negativos.

## Capítulo 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 CONCLUSIONES

La TIR del Proyecto El Cerrito resultó negativa y por lo tanto no se aconseja su implementación. Sin embargo al hacer el pronóstico de la energía anual a generar a partir del agua recolectada por el método de galerías de infiltración, se hicieron suposiciones a partir de datos muy preliminares proporcionados por personal que construyó la galería pero que tuvo muy poco tiempo para observarla en funcionamiento, debido a que las primeras pruebas se hicieron al final de la estación lluviosa. Posteriormente me informaron que el diseñador de la misma había recomendado hacer algunos cambios aumentando el tamaño de la galería pero no conozco datos nuevos para pronosticar la cantidad de galones captada por mes en los meses de estación lluviosa. En todo caso, la realidad se conocerá al iniciarse nuevamente la estación lluviosa y lo más probable es que la cantidad de agua de la que se podrá disponer para el proyecto de Micro-hidro generación aumentará considerablemente y se podrá entonces repetir los cálculos para verificar o no su factibilidad económica.

Con el archivos que se adjunta en el CD: “Perdidas en Tuberías.xls” y sus *hojas para diferentes diámetros* de tuberías, y con la hoja *Kwh Generación*, se puede recalculer tanto la generación anual como el factor de planta para nuevas condiciones.

Con el archivo que se adjunta en el CD “TIR.xls” y sus hojas *Flujo para Proy 2 e Inversiones 2* se puede recalculer la TIR para cualquier nuevo proyecto de Micro-hidro generación con galerías de infiltración.

#### 6.2 RECOMENDACIONES

El tema de captar agua con galerías de infiltración es muy reciente en El Salvador y hasta el momento los datos de su comportamiento se empiezan a conocer. Es recomendable hacer esfuerzos para que más técnicos y académicos se interesen en el tema y se pueda contar con más información para ampliar el uso en El Salvador de estas galerías y encontrar la manera de hacer posible la generación de electricidad como un sub producto de las mismas.